

UVOD U KONAČNU TEORIJU

To je trebalo da bude konačna teorija, jedinstven okvir koji bi objedinio sve sile kosmosa i režirao sve, od kretanja svemira koji se širi do najsitnijeg plesa subatomskih čestica. Izazov je bio napisati jednačinu čija bi matematička elegancija obuhvatila fiziku u celini.

Neki od najeminentnijih fizičara na svetu upustili su se u tu potragu. Stiven Hoking je čak napisao tekst prigodnog naziva „Da li je na pomolu kraj teorijske fizike?“

Ukoliko se takva teorija pokaže uspešnom, predstavljala bi krunsko dostignuće nauke. Bio bi to Sveti gral fizike, jedinstvena formula iz koje bi se, načelno, mogle izvesti sve ostale jednačine, počev od Velikog praska pa sve do kraja svemira. Bila bi krajnji proizvod dva milenijuma naučnog istraživanja, još otkad su se u drevna vremena zapitali: „Od čega je načinjen svet?“

To je vizija koja oduzima dah.

AJNŠTAJNOV SAN

Sa izazovom koji ovaj san predstavlja prvi put sam se susreo kao osmogodišnjak. Jednog dana štampa je objavila da je upravo preminuo veliki naučnik. U novinama je bila nezaboravna slika.

Prikazivala je njegov sto, s otvorenom beležnicom. U potpisu slike stajalo je da najveći naučnik našeg vremena nije uspeo da dovrši rad koji je započeo. Bio sam fasciniran. Šta bi moglo biti toliko teško da čak ni veliki Ajnštajn nije uspeo to da reši?

Ta beležnica krila je njegovu nedovršenu teoriju svega, koju je Ajnštajn zvao objedinjena teorija polja. Želeo je da nađe jednačinu, možda tek koji centimetar dugačku, koja bi mu, po njegovim rečima, omogućila da „pročita Božji um“.

Nesvestan golemosti tog problema, odlučio sam da krenem tragom tog velikog čoveka, nadajući se da ću odigrati malu ulogu u dovršavanju njegovog nauma.

I mnogi drugi su pokušali, ali bez uspeha. Kako je prinstonski fizičar Friman Dajson rekao, put ka objedinjenoj teoriji polja popločan je leševima propalih pokušaja.

Međutim, danas mnogi vodeći fizičari veruju da se napokon bližimo rešenju.

Glavni (i, po meni, jedini) kandidat je teorija struna, po kojoj kosmos nije načinjen od tačkastih čestica već od vibrirajućih struna čija svaka nota odgovara subatomske čestici.

Ukoliko bismo imali dovoljno moćan mikroskop, videli bismo da elektroni, kvarkovi, neutriini itd. nisu ništa drugo do vibracije majušnih petlji koje podsećaju na gumice. Ako trgnemo gumicu dovoljno puta i na različite načine, stvorićemo sve poznate čestice u kosmosu. To znači da se svi zakoni fizike mogu svesti na harmonije tih struna. Hemija predstavlja melodije koje se mogu svirati na tim strunama. Svemir je simfonija. A Božji um, o kome je Ajnštajn tako rečito pisao, kosmička je muzika koja odjekuje kroz prostorvreme.

Ovo nije samo akademsko pitanje. Kad god su naučnici otkrili novu silu, to je izmenilo tok civilizacije i istoriju čovečanstva. Njutnov otkriće zakona kretanja i gravitacije, na primer, postavilo je temelje eri mašina i industrijske revolucije. Objašnjenje elektriciteta i magnetizma za koje

su zaslužni Majkl Faradej i Džejms Klerk Maksvel otvorilo je put za uvođenje rasvete u gradovima i podarilo nam moćne električne motore i generatore kao i trenutnu komunikaciju putem televizije i radija. Ajnštajnova jednačina $E = mc^2$ rasvetlila nam je snagu zvezda i pomogla da razrešimo misteriju nuklearne sile. Kad su Ervin Šredinger, Verner Hajzenberg i ostali razotkrili tajnu kvantne teorije, omogućili su nam visokotehnološku revoluciju današnjice, sa superračunarima, laserima, internetom i svim čudesnim spravama u našim domovima.

Sva čuda moderne tehnologije, na kraju krajeva, poreklo duguju naučnicima koji su postepeno otkrivali fundamentalne sile sveta. Naučnici se sada možda bliže teoriji koja u jedinstvenu teoriju objedinjuje četiri sile prirode – gravitaciju, elektromagnetnu silu i jaku i slabu magnetnu silu. Ona bi nam mogla dati odgovore na najdublje misterije i pitanja svekolike nauke, poput:

- Šta se desilo pre Velikog praska? Zašto se prasak uopšte dogodio?
- Šta je s druge strane crne rupe?
- Da li je putovanje kroz vreme moguće?
- Postoje li crvotočine koje vode u druge kosmose?
- Ima li viših dimenzija?
- Da li postoji multiverzum paralelnih kosmosa?

Ova knjiga govori o stremljenju da se otkrije ta konačna teorija i o svim bizarnim preokretima u – nema sumnje – jednom od najčudnijih poglavlja u istoriji fizike. Razmotrićemo sve prethodne revolucije koje su nam omogućile naša tehnološka čuda, počev od njutnovske, preko ovladavanja elektromagnetnom silom, razvoja relativnosti i kvantne teorije do teorije struna danas. Objasnićemo i kako bi ova teorija mogla da razotkrije najdublje misterije prostora i vremena.

ARMIJA KRITIČARA

Međutim, postoje prepreke. Uprkos svem uzbuđenju koje prati teoriju struna, kritičari nikad nisu propuštali priliku da ukažu na njene nedostatke. I nakon sve fame i ushićenja, nastao je zastoj.

Najupadljiviji problem je u tome što nemamo čvrste, proverljive dokaze, uprkos hvalospjevima lepoti i složenosti teorije u medijima. Ranije je postojala nada da će se Velikim hadronskim sudaračem (Large

Hadron Collider – LHC) u blizini Ženeve, najvećim akceleratorom u istoriji, naći konkretni dokazi za konačnu teoriju, ali do toga nije došlo. LHC je uspeo da nađe Higsov bozon (takozvanu Božju česticu), ali to je samo delić konačne teorije koji je nedostajao.

Iako se kuju planovi o još moćnijem nasledniku LHC-a, ništa ne garantuje da će te skupe mašine išta otkriti. Niko ne zna zasigurno na kojoj energiji ćemo naći nove subatomske čestice koje bi potvrdile teoriju.

Ali možda najvažnija kritika teorije struna upućena je na račun toga što predviđa više kosmosa – multiverzum. Ajnštajn je jednom prilikom rekao kako je ključno pitanje da li je Bog imao izbora u formiranju kosmosa. Je li kosmos jedinstven? Teorija struna je sama po sebi jedinstvena, no, verovatno ima beskonačno mnogo rešenja. Fizičari to nazivaju problemom pejzaža – činjenicu da bi naš svemir mogao biti samo jedno rešenje u okeanu jednako ispravnih. Ako je naš kosmos samo jedna od mnoštva mogućnosti, koja je, onda naša? Zašto živimo u ovom kosmosu, a ne u drugom? Kakva je, onda, prediktivna moć teorije struna? Da li je to teorija svega ili teorija bilo čega?

Moram priznati da sam mnogo uložio u ovu potragu. Radim na teoriji struna od 1968, otkad je slučajno iskrsla, nenajavljena i potpuno neočekivana. Svedočio sam izvanrednoj evoluciji te teorije koja se razvila od jedne formule u disciplinu sa istraživačkim radovima kojih je toliko da mogu da ispune čitavu biblioteku. Teorija struna je danas predmet brojnih istraživanja koja se izvode u vodećim svetskim laboratorijama. Nadam se da će vam ova knjiga pružiti uravnoteženu, objektivnu analizu napredaka i ograničenja teorije struna.

Ujedno će razotkriti zašto je ova potraga zagolicala maštu vrhunskih svetskih naučnika i zašto je ova teorija razbuknula toliko strasti i kontroverze.

I OBJEDINJENJE – DREVNI SAN

Kad pogledamo u veličanstveni sjaj noćnog neba, okruženi svim tim svetlucavim zvezdama na, lako nam je da ostanemo bez daha pred njegovom impresivnošću.

Misli nam skreću na neka od najtajanstvenijih pitanja.

Da li iza svemira stoji neka velika zamisao?

Kako naći smisao naizgled besmislenog kosmosa?

Da li naše postojanje ima razlog, ili je sasvim besmisleno?

Na um mi pada pesma Stivena Krejna:

Čovek reče svemiru:

„Gospodine, ja postojim!“

„Ali“, odvrati svemir,

„Ta činjenica u meni još ne stvori osećanje dužnosti.“

Prve ozbiljnije pokušaje da otkriju uređenje u haosu sveta oko nas načinili su Grci. Filozofi poput Aristotela verovali su da sve može da se svede na mešavinu četiri fundamentalna sastojka: zemlje, vazduha,

vatre i vode. Ali kako su ta četiri elementa iznedrila bogatu složenost sveta?

Grci su imali najmanje dva odgovora na to pitanje. Prvi je dao filozof Demokrit, još pre Aristotela. Smatrao je da se sve može svesti na majušne, nevidljive, neuništive čestice koje je zvao atomi (što na grčkom znači nedeljivi). Međutim, kritičari su isticali da je nemoguće naći neposredne dokaze, jer su atomi premali da bi se opazili. Ali Demokrit je mogao slobodno da ukaže na ubedljive posredne dokaze.

Razmotrimo, na primer, zlatan prsten. Tokom godina prsten počinje da se haba. Nešto se od njega gubi. Svakog dana, majušni delići materije se otiru s prstena. Dakle, iako su atomi nevidljivi, njihovo postojanje može se registrovati posredno.

Čak i danas veći deo naprednih naučnih istraživanja izvodi se posredno. Znamo kakav je sastav Sunca, poznajemo detaljnu strukturu DNK i kolika je starost kosmosa, sve zahvaljujući merenjima takve vrste. Sve to znamo, a da nikad nismo otišli na zvezde niti zašli u strukturu molekula DNK ili svedočili Velikom prasku. Ta razlika između neposrednih i posrednih dokaza biće presudna kada budemo razmatrali pokušaje da se dokaže objedinjena teorija polja.

Začetnik drugog pristupa je veliki matematičar Pitagora.

Njegova pronicljivost usmerila ga je da primeni matematičke opise na pojave poput muzike. Legenda kaže da je uočio sličnosti između zvuka dobijenog trzanjem žice lire i rezonancija nastalih udaranjem o metalnu šipku. Otkrio je da se tako stvaraju muzičke frekvencije koje vibriraju u određenom odnosu. Dakle, nešto tako estetski ugodno kao što je muzika ima poreklo u matematici rezonancija. Takvo otkriće je, kako je mislio, moglo da ukaže na to da svi ti raznovrsni objekti oko nas mora da su podređeni istim matematičkim pravilima.

Vidimo da su najmanje dve velike teorije našeg sveta potekle iz drevne Grčke: ideja da se sve sastoji od nevidljivih, neuništivih atoma i da se raznovrsnost prirode može opisati matematikom vibracija.

Nažalost, s propašću klasične civilizacije, te filozofske diskusije i debate su se izgubile. Ideja da bi mogla postojati paradigma koja objašnjava kosmos bila je zaboravljena gotovo hiljadu godina. Tama je prekrila zapadni svet i naučno preispitivanje velikim delom su zamenili sujeverje i verovanje u magiju i vračanje.

PREPOROD TOKOM RENESANSE

U 17. veku, nekoliko velikih naučnika se usudilo da dovede u pitanje uspostavljeni poredak i da krene u istraživanje prirode kosmosa, ali naišli su na protivljenje i progon. Johan Kepler, jedan od prvih koji su primenili matematiku na kretanje planeta, bio je savetnik Rudolfa II i možda je progon izbegao tako što je pobožno dodavao religijske elemente svom naučnom radu.

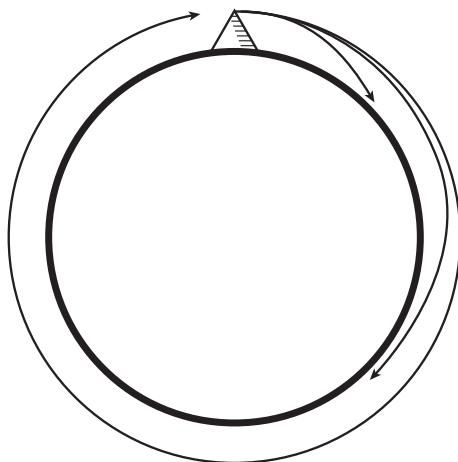
Bivši monah Đordano Bruno nije bio te sreće. Godine 1600. izveden je pred sud i osuđen na smrt zbog jeresi. Vodali su ga ulicama Rima nagog i vezanih usta i na kraju su ga spalili na lomači. Njegov zločin? To što je rekao da bi na planetama koje kruže oko drugih zvezda moglo biti života.

Veliki Galilej, otac eksperimentalne nauke, za dlaku je umakao istoj sudbini. Za razliku od Bruna, Galilej se odrekao svojih teorija pod pretnjom smrću. Ipak, ostavio je trajno nasleđe u vidu svog teleskopa, možda najrevolucionarnijeg i najikonoklastičnijeg izuma u istoriji nauke. Pomoću teleskopa, mogli ste se sopstvenim očima uveriti da je površina Meseca prekrivena kraterima, da su Venerine faze konzistentne s njenim kruženjem oko Sunca i da Jupiter ima mesece, što su sve bile jeretičke ideje.

Za žaljenje je to što je bio primoran na kućni zatvor, bez poseta. Potom je oslepeo. (Kažu da je razlog to što je jednom pogledao direktno u Sunce kroz svoj teleskop.) Galilej je umro slomljenog duha. Ali te godine kad je umro, u Engleskoj se rodio čovek koji će završiti Galilejeve i Keplerove nedovršene teorije, podarivši nam objedinjenu teoriju nebesa.

NJUTNOVA TEORIJA SILA

Isak Njutn je možda najveći naučnik svih vremena. U svetu opsednutom veštičarenjem i čarobnjaštvom, usudio se da ispiše univerzalne nebeske zakone i da primeni novu matematiku koju je osmislio da bi proučavao sile, zvanu infinitezimalni račun. Fizičar Stiven Vajnberg je napisao: „Moderni san o konačnoj teoriji počeo je sa Isakom Njutnom.“ U vreme kad je nastalo, njegovo delo smatralo se teorijom svega – odnosno, teorijom koja je opisivala svekoliko kretanje.



Slika 1. Možemo da ispaljujemo đule sa sve većom energijom, dok ne napravi pun krug oko Zemlje i ne vrati se u početnu tačku. Njutn je onda rekao da to objašnjava Mesečevu orbitu, objedinivši tako fizičke zakone koji važe na Zemlji sa zakonima nebeskih tela.

Sve je počelo kad je imao dvadeset tri godine. Univerzitet Kembridž bio je zatvoren zbog kuge. Godine 1666, dok je šetao svojim seoskim imanjem, video je jabuku kako pada. Postavio je sebi pitanje koje će izmeniti tok ljudske istorije.

Ako pada jabuka, zašto i Mesec ne padne?

Pre Njutna, crkva je propovedala da postoje dve vrste zakona. Prvi su bili zakoni na Zemlji, ukaljani grehom smrtnika. Drugi su bili čisti, savršeni i skladni nebeski zakoni.

Njutnova ideja je, u suštini, glasila: treba definisati teoriju koja bi obuhvatila i nebesa i Zemlju.

U beleškama je nacrtao verni prikaz te zamisli (slika 1).

Ako top opali s vrha planine, đule će preći izvesnu razdaljinu pa će pasti na tlo. Ali kako povećavate brzinu đuleta, leteće sve dalje i dalje pre pada dok ne napravi potpun krug oko Zemlje i vrati se na planinski vrh. Njutn je zaključio da prirodni zakon koji upravlja jabukama i đuladi važi i za Mesec u njegovoj orbiti oko Zemlje. Zemaljska i nebeska fizika su iste.

Uspeo je tako što je uveo koncept sila. Objekti su se kretali jer se privlače ili odbijaju silama koje su univerzalne i mogu se izmeriti

precizno i matematički. (Prethodno su pojedini teolozi smatrali da je uzrok kretanja objekata želja i da padaju zato što žele da se sjedine sa Zemljom.)

Njutn je tako uveo ključni koncept objedinjenja.

Ali bio je izuzetno izolovana osoba i dobar deo svog rada držao je u tajnosti. Imao je tek nekoliko prijatelja, nije umeo da časka i često se upuštao u ogorčene sukobe s drugim naučnicima oko zasluga za svoja otkrića.

Godine 1682. zbio se senzacionalan događaj koji je izmenio tok istorije. Užarena kometa je preletela London. Svi su pričali o tome, od plemića do prosjaka. Odakle je došla? Kuda ide? Šta predskazuje?

Jedan od onih koje je kometa zainteresovala bio je astronom Edmond Halej. Otputovao je u Kembridž da se nađe sa čuvenim Isakom Njutnom, koji se već proćuo zahvaljujući svojoj teoriji svetlosti. (Puštajući sunčevu svetlost kroz staklenu prizmu, Njutn je otkrio da se belo svetlo razlaže na sve boje duge, pokazujući tako da je bela svetlost zapravo kompozitna boja. Takođe, izumeo je novi tip teleskopa zasnovan na ogledalima za refleksiju umesto sočiva.) Upitavši Njutna šta misli o kometi o kojoj svi pričaju, Halej je, na svoje iznenađenje, čuo kako Njutn može da pokaže da se komete kreću u elipsama oko Sunca i da može čak i predvideti njihovu putanju koristeći svoju teoriju gravitacije. Zapravo, pratio je komete teleskopom koji je sam izumeo, i one su se kretale upravo onako kako je predvideo.

Halej je bio zapanjen.

Odmah mu je bio jasno da je svedok prekretnice u nauci i ponudio je da pokrije troškove štampanja knjige koja će na kraju postati jedno od najvećih remek-dela nauke, *Matematički principi prirodne filozofije* ili, prosto, *Principia*.

Povrh toga, Halej je, uviđajući da je Njutn predviđao da bi komete mogle da se vraćaju u pravilnim intervalima, izračunao da bi kometa iz 1682. godine mogla da se vrati 1758. (Halejeva kometa je, prema predviđanjima, preletela Evropu na Božić 1758, posthumno učvrstivši Njutnovu i Halejevu reputaciju.)

Njutnova teorija kretanja i gravitacije jedno je od najvećih dostignuća ljudskog uma, jedinstveni princip koji objedinjuje zakone kretanja. Aleksandar Pop je napisao:

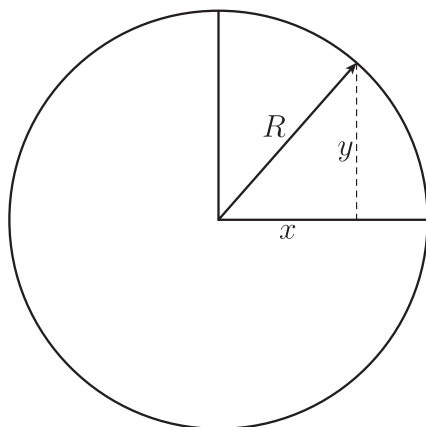
*Priroda i zakoni njeni u noći behu skriveni:
Bog reče, nek bude Njutn!
I svetlosti bi.*

Čak i danas, inženjeri koji rade u Nasi usmeravaju svemirske sonde kroz Sunčev sistem upravo zahvaljujući Njutnovim zakonima.

ŠTA JE SIMETRIJA?

Njutnov zakon gravitacije je važan i zbog svoje simetrije – jednačina se ne menja ako zarotiramo stvari. Zamislite sferu oko Zemlje. Zapravo, Zemlja ima sferni, a ne loptast oblik, zato što je gravitacija ravnomerno sabija. Zato nikad nismo videli kockaste zvezde ili piramidalne planete. (Mali asteroidi često imaju nepravilan oblik, jer je gravitaciona sila koja deluje na asteroid premala da bi ga ravnomerno sažimala.)

Koncept simetrije jednostavan je, elegantan i intuitivan. Štaviše, u ovoj knjizi videćemo da simetrija nije samo beznačajna lakirovka, već je ključna odlika koja ukazuje na dubok, fundamentalni princip kosmosa.



$$R^2 = x^2 + y^2$$

Slika 2. Dok Zemlja kruži oko Sunca, poluprečnik njene orbite R ostaje isti. Zemljine koordinate, X i Y neprestano se menjaju dok ona kruži, ali vrednost R je nepromenljiva. Pitagorina teorema nam kaže da je $X^2 + Y^2 = R^2$. Dakle, Njutnova jednačina ima simetriju kad se izrazi preko R (jer je R nepromenljiv) ili X i Y (preko Pitagorine teoreme).

Ali na šta mislimo kad kažemo da je jednačina simetrična?

Objekat je simetričan ako je, nakon preuređivanja njegovih delova, isti ili invarijantan. Na primer, sfera je simetrična jer ostaje ista pošto je obrnete. Ali kako to izraziti matematički?

Zamislite Zemlju kako rotira oko Sunca (slika 2). Poluprečnik Zemljine orbite je R , i ne menja se kako se Zemlja kreće po orbiti (tačnije, Zemljina orbita je eliptična, te se R unekoliko menja, ali to nije bitno za ovaj primer). Koordinate Zemljine orbite su X i Y . Dok se Zemlja kreće u svojoj orbiti, X i Y se neprestano menjaju, za razliku od R – poluprečnik je nepromenljiv.

Njutnove jednačine održavaju ovu simetriju, što znači da gravitacija između Zemlje i Sunca ostaje ista dok Zemlja rotira oko ove zvezde. Dok se naši referentni sistemi menjaju, zakoni su nepromenljivi. S kakvom god orijentacijom pristupali problemu, pravila se ne menjaju i uvek dobijamo iste rezultate.

Sa ovim konceptom simetrije susretaćemo se neprestano dok budemo govorili o objedinjenoj teoriji polja. Zapravo, videćemo da je simetrija jedna od najmoćnijih alatki u objedinjavanju svih sila prirode.

POTVRDA NJUTNOVIH ZAKONA

Tokom vekova, došlo se do brojnih potvrda Njutnovih zakona, i one su imale izuzetan uticaj na nauku, ali i na društvo. U 19. veku astronomi su opazili čudnu anomaliju na nebu. Uran je odstupao od predviđanja Njutnovih zakona. Njegova orbita nije bila savršena elipsa, već pomalo nepravilna – ili su Njutnovi zakoni bili netačni, ili je postojala još neotkrivena planeta čija gravitacija je uticala na orbitu Urana. Vera u Njutnove zakone bila je tako velika da su fizičari poput Irbena Leverjea izveli mukotrpne proračune da bi utvrdili gde bi ta misteriozna planeta mogla da bude. Godine 1846. astronomi su isprve, s preciznošću od jednog stepena, našli tu planetu na predviđenom mestu. Nova planeta nazvana je Neptun. Bio je to *tour de force* Njutnovih zakona, a po prvi put u istoriji primenjena je čista matematika da bi se detektovalo prisustvo velikog nebeskog tela.

Kako smo ranije pomenuli, kad god bi naučnici opisali jednu od četiri fundamentalne sile u kosmosu, to bi ne samo rasvetlilo tajne prirode, već bi i preobrazilo društvo. Osim što su razotkrili tajnu planeta i kosmosa,

Njutnovi zakoni su i postavili temelje zakonima mehanike, na osnovu kojih danas konstruišemo nebudere, motore, mlazne avione, vozove, mostove, podmornice i rakete. U prvoj deceniji 19. veka, na primer, fizičari su primenili Njutnove zakone da objasne prirodu toplote. U to vreme, naučnici su smatrali da je toplota neki oblik fluida koji se širi kroz supstancu. Ali pobliže istraživanje pokazalo je da toplota zapravo predstavlja molekule koji se kreću, nalik na majušne čelične kuglice u stalnim međusobnim sudarima. Njutnovi zakoni su omogućili da se precizno izračuna kako se dve čelične kuglice odbijaju jedna od druge. Potom, dodavanjem bilioni molekula, mogla su se izračunati tačna svojstva toplote. (Kad se gas u komori zagreje, primera radi, širi se u skladu s Njutnovim zakonima, pošto toplota povećava brzinu molekula u komori.)

Inženjeri su mogli da usavrše parnu mašinu na osnovu tih proračuna. Mogli su da izračunaju koliko uglja je potrebno da se voda pretvori u paru koja bi potom mogla da gura zupčanike, klipove, točkove i poluge kako bi se pokretale mašine. S pojavom parne mašine u 19. veku energija dostupna radniku vinula se do vrednosti od stotina konjskih snaga. Odjednom, pruge su povezale udaljene delove sveta i znatno povećale protok dobara, znanja i ljudi.

Pre industrijske revolucije, robu su proizvodili mali esnafi većih zanatlija koji su mukotrpno pravili čak i najjednostavnije predmete za domaćinstvo. Ljubomorno su čuvali tajne svog umeća. Zato je roba često bila retka i skupa. S pojavom parne mašine i moćne mašinerije koju je omogućila, roba se mogla proizvesti s mnogo manjim troškovima, što je u ogromnoj meri povećalo bogatstvo pojedinih zemalja i podiglo životni standard.

Kada talentovane studente tehničkih disciplina podučavam Njutnovim zakonima, nastojim da naglasim kako ti zakoni nisu samo suvoparne, dosadne jednačine, već da su izmenili tok moderne civilizacije, dovevši do izobilja i prosperiteta koje zapažamo oko sebe. Čak ponekad prikazujemo studentima katastrofalno urušavanje mosta Takoma Nerous u saveznoj državi Vašington 1940. godine, zabeleženo kamerom, kao zaprepašujuć primer toga što se dešava kada se Njutnovi zakoni pogrešno primene.

Imajući u vidu da su Njutnovi zakoni objedinili fiziku nebesa i fiziku Zemlje, možemo reći da su doprineli pokretanju prve velike tehnološke revolucije.

MISTERIJA ELEKTRICITETA I MAGNETIZMA

Proći će još dvesta godina do narednog velikog pomaka, proisteklog iz istraživanja elektriciteta i magnetizma.

Narodi su u prošlosti našli način da ukrote magnetizam. Kinezi su koristili moć magnetizma da izumeju kompas, što je popločalo put dobu otkrića. Ipak, u prošlosti ljudi su se bojali moći elektriciteta. Smatrali su da su munje izraz srdžbe bogova.

Temelje toj naučnoj oblasti napokon je postavio Majkl Faradej, siromašan ali preduzimljiv mladić bez formalnog obrazovanja. Kao dete, uspeo je da dobije posao pomoćnika u Kraljevskom institutu u Londonu. Za nekoga njegovog statusa u društvu normalno bi bilo da riba podove, pere flaše i da ostane u senci. Ali ovaj mladi čovek je bio tako neumoran i ljubopitljiv da su mu njegovi nadglednici dozvolili da sprovodi eksperimente.

Faradej će doći do nekih od najvećih otkrića u oblasti elektriciteta i magnetizma. Pokazao je da će se, ako pomerate magnet kroz kolut žice, u žici stvoriti elektricitet. Bilo je to zadivljujuće i važno zapažanje, pošto je odnos između elektriciteta i magnetizma bio potpuna nepoznanica. Moglo se pokazati i obrnuto, kako pokretno električno polje može da generiše magnetno polje.

Faradej je postepeno shvatio da su ova dva fenomena zapravo dve strane istog novčića. To jednostavno opažanje doprineće dolasku ere elektriciteta, u kojoj će ogromne hidroelektrane svetlom napajati čitave gradove. (Hidroelektrana funkcioniše tako što reka gura turbinu koja okreće magnet, a magnet pokreće elektrone u žici čime se šalje elektricitet u utičnice u vašem domu. Suprotan efekat, pretvaranje električnih polja u magnetna, razlog je što rade vaši usisivači. Elektricitet iz zidne utičnice izaziva okretanje magnetna, što pokreće pumpu koja usisava i dovodi do obrtanja lopatica usisivača.)

Ali kako Faradej nije imao formalno obrazovanje, nije znao da matematički opiše svoja izuzetna otkrića. Umesto toga, punio je beležnice čudnim dijagramima s linijama sile koji su ličili na mrežu linija koje formiraju gvozdeni opiljci oko magnetna. Faradej je zaslužan i za koncept polja, jedan od najvažnijih koncepata čitave fizike. Polje se sastoji od ovih linija sile koje se protežu kroz prostor. Magnetne linije okružuju

svaki magnet, a magnetno polje Zemlje izvire iz severnog pola i prostire se ka južnom polu u koji se vraća. Čak se i Njutnova teorija gravitacije može izraziti preko polja – Zemlja se okreće oko Sunca jer se kreće u Sunčevom gravitacionom polju.

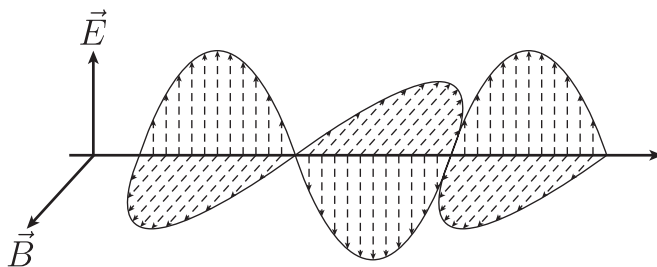
Faradej je svojim otkrićem pomogao da se objasni poreklo magnetnog polja koje okružuje Zemlju. Kako se Zemlja obrće oko svoje ose, s njom se okreće i naelektrisanje u njoj. To konstantno kretanje unutar Zemlje razlog je za stvaranje magnetnog polja. (Ali to ne daje odgovor na pitanje otkud magnetno polje magnetne šipke, jer ništa se ne kreće niti obrće. Toj misteriji vrat ćemo se kasnije.) Danas se sve poznate sile u kosmosu izražavaju jezikom polja koji je Faradej uveo.

S obzirom na neizmeran doprinos Faradeja ulasku u električno doba, fizičar Ernest Raderford nazvao ga je „najvećim naučnim otkrivačem svih vremena“.

Faradej je bio neobičan – barem za svoje vreme – i po tome što je voleo da animira javnost, čak i decu, svojim otkrićima. Čuvena su bila njegova božićna predavanja: pozvao bi sve zainteresovane u Kraljevski institut na čudesnu demonstraciju električne magije. Ušao bi u veliku prostoriju čiji zidovi su bili prekriveni metalnom folijom (kakvu danas zovemo Faradejev kavez), i doveo elektricitet do nje. Iako je metal bio očigledno naelektrisan, Faradej je bio potpuno bezbedan, jer se električno polje proširilo po površini sobe, a unutar nje bilo je jednako nuli. Danas se ovaj efekat koristi da se zaštite mikrotalasne rerne i osetljiva oprema od nasumičnih električnih polja, ili mlaznjaci, koje često pogađaju munje. (Za potrebe emisije na kanalu Science, ušao sam u Faradejev kavez u Bostonskom muzeju nauke. Ogromne trake elektriciteta, napona i do dva miliona volti, bombardovale su kavez, ispunjavajući prostor glasnim pucketanjem. Ali ja nisam ništa osetio.)

MAKSELOVE JEDNAČINE

Njutn je pokazao da se objekti kreću jer ih guraju sile, što se moglo opisati infinitezimalnim računom. Faradej je pokazao da se elektricitet kreće jer ga gura polje. Ali za proučavanje polja bila je potrebna nova grana matematike, koju će postaviti matematičar sa Kembridža Džejms Klerk Maksvel, a dobiće ime vektorska analiza. Dakle, kao što su Kepler



Slika 3. Električno i magnetno polje su dve strane istog novčića. Oscilirajuće električno i magnetno polje transformišu se jedno u drugo, krećući se poput talasa. Svetlost je jedna od manifestacija elektromagnetnog talasa.

i Galilej postavili temelje njutnovskoj fizici, tako je Faradej utro put Maksvelovim jednačinama.

Maksvel je bio matematički virtuoz koji je načinio zadivljujuće pomake u fizici. Uvideo je da se ponašanje elektriciteta i magnetizma, kakve su ih otkrili Faradej i drugi, može svesti na precizan matematički jezik. Jedan zakon je govorio da magnetno polje koje se kreće može da stvori električno polje. Drugi zakon izražavao je suprotno, da električno polje koje se kreće može da generiše magnetno polje.

Onda je Maksvelu sinula ideja kakva se retko javlja. Šta ako bi promenljivo električno polje stvaralo magnetno polje koje bi stvaralo drugo električno polje koje bi generisalo još jedno magnetno polje i tako redom? Došao je do briljantnog zaključka da bi završni proizvod tog kretanja u jednom pa u drugom smeru bio talas u pokretu, takav da bi se električna i magnetna polja neprestano pretvarala jedna u druga. Taj beskonačan niz transformacija živi sopstvenim životom, stvarajući talas vibrirajućeg električnog i magnetnog polja.

Koristeći vektorsku analizu Maksvel je izračunao brzinu tog talasa koji se kreće i utvrdio da iznosi 310.740 kilometara u sekundi. Bio je toliko šokiran da je teško poverovao u to što je saznao. U okvirima eksperimentalne greške, ova brzina bila je zadivljujuće blizu brzini svetlosti (za koju danas znamo da iznosi 299.792 kilometra u sekundi). Potom je načinio naredni smeli korak, tvrdeći da to *jeste* svetlost! Svetlost je elektromagnetni talas.

Maksvel je zapisao proročke reči: „Teško je izbeći zaključak da se svetlost sastoji od transverzalnih talasanja istog medija koji je uzrok električnih i magnetnih pojava.“

Danas svaki student fizike i elektrotehnike mora napamet da nauči Mak-svelove jednačine. One su osnova za televizore, lasere, generatore itd.

Faradej i Maksvel su objedinili elektricitet i magnetizam. A ključ objedinjenja je simetrija. Maksvelove jednačine sadrže simetriju zvanu dualnost. Ako se električno polje u svetlosnom zraku predstavi kao E , a magnetno polje kao B , jednačine za elektricitet i magnetizam se ne menjaju kad E i B zamene mesta. Ova dualnost ukazuje na to da su elek-tricitet i magnetizam dve manifestacije iste sile. Dakle, simetrija između E i B omogućava da se objedine elektricitet i magnetizam, dovodeći do jednog od najvećih naučnih pomaka u 19. veku.

Fizičare je ovo otkriće fasciniralo. Berlinsku nagradu garantovano je dobijao svako ko uspe da stvori te Maksvelove talase u laboratoriji. Godine 1886. fizičar Hajnrih Herc izveo je istorijski test.

Herc je generisao električnu iskru u jednom uglu svoje laboratorije. Koji metar dalje nalazio se kalem žice. Herc je pokazao da je, stvarajući iskru, mogao da generiše električnu struju u kalemu, dokazujući time da je novi, misteriozni talas bežično putovao s jednog mesta na drugo. To je najavilo dolazak novog fenomena – radija. Godine 1894. Guljelmo Markoni je predstavio javnosti ovaj novi oblik komunikacije. Pokazao je kako je moguće bežično slati poruke preko Atlantskog okeana brzinom svetlosti.

S pojavom radija, dobili smo izuzetno brz, pogodan i bežičan način komuniciranja na daljinu. Ako se osvrnemo u prošlost, vidimo da je nemanje brzog i pouzdanog sistema komunikacije bio jedna od najvećih prepreka napretku istorije. (Godine 490. pre n. e, nakon bitke kod Maratona između Grka i Persijanaca, sirotom trkaču naređeno je da što pre pronese vest o grčkoj pobjedi. Hrabro je trčao 42 kilometra do Atine, nakon što je prethodno već pretrčao 237 kilometara do Sparte, a potom se, prema legendi, srušio i umro od iscrpljenosti. Njegov heroizam u doba pre telekomunikacija sada se slavi kroz moderne maratone.)

Danas i ne razmišljamo o tome da bez ikakvog napora možemo da šaljemo poruke i informacije svud po svetu, koristeći činjenicu da se energija može transformisati na mnogo načina. Na primer, kad pričamo preko mobilnog telefona, energija zvuka glasa konvertuje se u meha-ničku energiju u vibrirajućoj membrani. Ta membrana je pričvršćena za magnet koji, zahvaljujući tome što elektricitet i magnetizam mogu da

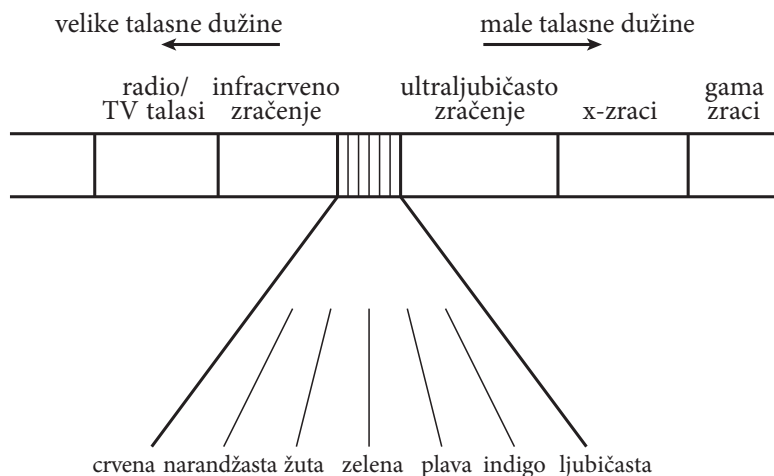
se transformišu jedno u drugo, stvara prenosivi električni impuls koji računar može da protumači. Ovaj električni impuls se potom prevodi u elektromagnetne talase koje registruje obližnja mikrotalasna antena. Tu se poruka pojačava i šalje širom planete.

Ali Maksvelove jednačine ne samo da su omogućile bezmalo trenutnu komunikaciju preko radija, mobilnog telefona i optičkih kablova, već su i otvorile čitav elektromagnetni spektar čiji su vidljiva svetlost i radio-talasi samo dva člana. Šezdesetih godina 17. veka Njutn je pokazao da se bela svetlost usmerena u prizmu kroz nju razlaže na dugine boje. Godine 1800. Vilijam Heršel je postavio jednostavno pitanje: šta se krije iza duginih boja u oblasti od crvene do ljubičaste? Propustio je svetlost kroz prizmu u laboratoriji, dobivši dugin spektar, i stavio termometar ispod crvene boje, gde se nije videla nikakva boja. Na sopstveno iznenađenje, temperatura u toj bezbojnoj oblasti počela je da raste. Drugim rečima, ispod crvene bila je „boja“ nevidljiva golom oku, ali sadržala je energiju. Nazvana je infracrvena svetlost.

Danas znamo da postoji čitav spektar elektromagnetnog zračenja, većim delom nevidljiv, a svaki deo spektra ima posebnu talasnu dužinu. Na primer, talasna dužina radija i televizije veća je od vidljive svetlosti. Talasna dužina duginih boja veća je od talasne dužine ultraljubičastog i x-zračenja.

To takođe znači da je stvarnost koju vidimo oko nas samo sićušni deo elektromagnetnog spektra, najmanja aproksimacija mnogo većeg univerzuma elektromagnetnih boja. Neke životinje mogu da vide više nego mi. Recimo, pčele mogu da vide ultraljubičastu svetlost koja je nama nevidljiva, ali njima je presudna da bi odredile gde je Sunce i po oblačnom danu. Cveće je evolucijom steklo predivne boje da bi privuklo insekte poput pčela kako bi ga oprašili, što znači da su još spektakularnije kad se posmatra putem UV svetlosti.

Kad sam kao dete čitao o tome, pitao sam se zašto možemo da vidimo samo delić spektra elektromagnetnog zračenja. Kakva šteta, mislio sam. Ali sada znam da je razlog to što je talasna dužina EM talasa približno jednaka veličini antene koja ga proizvodi. Vaš mobilni telefon je veliki samo petnaestak centimetara zbog veličine antene, približno ravne talasnoj dužini EM talasa koji se odašilju. Slično tome, ćelija u vašoj mrežnjači je otprilike veličine talasne dužine boja koje možete da vidite.



Slika 4. Veći deo „boja“ EM spektra, od radio-talasa do gama zraka, nevidljiv je našim očima. Naše oči mogu da vide samo delić spektra elektromagnetnog zračenja, zbog veličine ćelija u našim mrežnjačama.

Zato možemo da vidimo samo boje čije su talasne dužine blizu veličine naših ćelija. Sve ostale boje elektromagnetnog spektra su nevidljive jer su ili prevelike ili premale da bi ih ćelije naših mrežnjača opažale. Dakle, ako bi ćelije u našim očima bile velike kao kuća, mogli bismo da vidimo sve mikrotalasno i radiotalasno zračenje oko nas.

I obrnuto – kad bi naše ćelije bile veličine atoma, mogli bismo da vidimo x-zračenje.

Način na koji elektromagnetna energija može da napaja čitavu planetu takođe u osnovi ima primenu Maksimalne jednačine. Dok nafta i uglj mogu da se transportuju brodom i vozom do udaljenih mesta, električna energija može da se prenosi žicama – dovoljno je samo pritisnuti prekidač – snabdevajući energijom čitave gradove.

To je u korenu čuvene kontroverze između dva diva električnog doba, Tomasa Edisona i Nikole Tesle. Edisonov genijalni um stoji iza brojnih električnih izuma, uključujući električnu sijalicu, filmsku kameru, fonograf, „tiker“ traku i stotine drugih čudesa. Prvi je doveo električnu energiju na gradske ulice, tačnije u ulicu Perl na Menhetnu.

Tako je nastupila električna era, druga velika tehnološka revolucija.

Edison je pretpostavljao da je jednosmerna struja, ili DC (koja se uvek kreće u istom smeru i ima isti napon), najbolji način da se prenosi

elektricitet. Tesla, koji je ranije radio za Edisona i doprineo postavljanju temelja telekomunikacione mreže današnjice, zagovarao je naizmeničnu struju (ili AC, koja menja smer oko šezdeset puta u sekundi). Bio je to uvod u čuveni rat struja – velike korporacije su ulagale milione u rivalske tehnologije, pri čemu je Dženeral Elektrik podržavao Edisona, a Vestinghaus Teslu. Budućnost električne revolucije zavisila je od porednika u ovom sukobu, Edisonove jednosmerne ili Tesline naizmenične struje.

Mada je Edison gurnuo svet u eru elektriciteta i bio jedan od arhitekata modernog sveta, nije potpuno shvatao Maksvelove jednačine. To će ga skupo koštati. On se, zapravo, podsmehivao naučnicima koji su dobro znali matematiku. (Čuvena je priča da je od naučnika koji su tražili posao kod Edisona on često tražio da izračunaju zapreminu sijalice. Smeškao bi im se dok su pokušavali da pomoću napredne matematike s teškom mukom izračunaju oblik sijalice, potom i njenu zapreminu. Nakon toga, Edison bi naprosto sipao vodu u praznu sijalicu, a potom presuo vodu iz nje u menzuru.)

Inženjeri su znali da su žice razvučene kilometrima gubile znatan deo energije ako bi prenosile struju niskog napona, što je zagovarao Edison. Zato su Teslini visokonaponski vodovi bili poželjniji zbog ekonomičnosti, ali visokonaponski kablovi bili su previše opasni da bi se uveli u domove. Rešenje je pronađeno u tome da visokonaponski vodovi prenose struju od elektrane do grada, a da se visoki napon potom nekako transformišu u niski napon neposredno pre nego što dospe u domove. Ključnu ulogu su imali transformatori.

Kako smo rekli, Maksvel je pokazao da magnetno polje koje se kreće stvara električnu struju, i obrnuto. To omogućava da napravimo transformator koji može velikom brzinom da menja napon u žici. Na primer, napon električnih kablova iz elektrane može da nosi hiljade volti. Ali transformator u neposrednoj blizini vaše kuće može da smanji taj napon na 110 volti, što je dovoljno da se napajaju mikrotalasna rečna i frižider.

Ako su ova polja statična i ne menjaju se, ne mogu se pretvarati jedno u drugo. Kako se neprestano menja, promenljivo električno polje naizmenične struje može lako da se pretvori u magnetna polja koja se potom konvertuju u električna polja, ali s manjim naponom, što znači da naizmenična struja lako može da promeni napon pomoću

transformatora; jednosmerna struja to ne može (zbog svoje nepromenljivosti i konstantnog napona).

Edison je na kraju izgubio bitku i propale su nemale investicije u jednosmernu tehnologiju. To je cena za zanemarivanje Maksvelovih jednačina.

KRAJ NAUKE?

Osim što su pomoću njih objašnjene tajne prirode i što su nas uvele u novu eru ekonomskog prosperiteta, Njutnove i Maksvelove jednačine pružile su nam uverljivu teoriju svega. Ili barem svega tada znanog.

Do 1900. godine, istaknuti naučnici već su proglašavali da je vreme „kraju nauke“. Živeti na tom prelazu između vekova bilo je, dakle, uzbudljivo. Otkriveno je sve što se moglo otkriti, ili se barem tako činilo.

Fizičari toga vremena nisu uviđali da su dva velika stuba nauke, Njutnove i Maksvelove jednačine, zapravo bili nekompatibilni. Bili su protivrečni.

Jedan od ta dva velika stuba morao se srušiti. A ključ je bio u rukama šesnaestogodišnjaka. Taj dečak rodiće se 1879, iste godine kad je Maksvel umro.